

Antero Soini

Polymeerisideaineisen laastin fysikaaliset ominaisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka

Insinöörityö

11.2.2014

Tekijä Otsikko	Antero Soini Polymeerisideaineisen laastin fysikaaliset ominaisuudet
Sivumäärä Aika	39 sivua + 10 liitettä 11.2.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Materiaali- ja pintakäsittelytekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaajat	Lehtori Arto Yli-Pentti Tutkija Jani Rutanen Tutkimuspäällikkö Leif Wirtanen
<p>Työn tarkoituksena oli tutkia polymeerisideaineisten julkisivulaastien ominaisuuksia. Tuotteesta testattiin eri versioita, jotta nähtäisiin eri raaka-aineiden vaikutus tuotteen ominaisuuksiin. Näitä eri versioita verrattiin markkinoilla olevan polymeerisideaineisen ja sementtisideaineisten laastien kanssa.</p> <p>Työ rajattiin kattamaan viisi eri testiä, joiden tulokset antavat tärkeää tietoa laastin ominaisuuksista ja joista osa on pakollisia tuotteen CE-merkitsemistä varten. Alussa esitellään julkisivulaastien teoriaa, jonka jälkeen esitellään suoritettut testit, niistä saadut tulokset ja tehdyt johtopäätökset.</p> <p>Mahdollisimman vertailukelpoisten testitulosten saamiseksi polymeerisideaineisia laasteja testattiin myös sementtisideaineisille laasteille suunnitelluilla testeillä. Tätä varten jouduttiin tutkimaan miten sementtisideaineisille laasteille suunniteltu koepalojen valmistusmenetelmä saadaan kehitettyä polymeerisideaineisille laasteille sopivaksi.</p> <p>Testeistä saaduista tuloksista saatiin selville kehitteillä olevan laastin eri versioiden keskeisiä ominaisuuksia ja sekä vertailukelpoiset tulokset verrattuihin polymeerisideaineiseen ja sementtisideaineisiin laasteihin. Lisäksi selvitettiin myös testitulosten sijoittuminen standardeissa esitettyihin raja-arvoihin.</p> <p>Jäätymis-sulamiskestävyyskokeen läpäisi seitsemästä testatusta laastista kaksi. Taivutuslujuudessa testattujen laastien murtolujuudet vaihtelivat välillä 1,60 – 6,46 N/mm². Puristuslujuusarvoja ei saatu määritettyä polymeerisideaineisille laasteille. Muilla laasteilla arvot olivat välillä 8,52 – 12,18 N/mm². Tartuntatestin läpäisi kolme laastia. Vedenimevyyskokeessa laasteja sijoittui kaikkiin standardin määrittämään kolmeen luokkaan. Vesihöyryn-läpäisevyyskokeessa laasteja sijoittui standardin määrittämiin luokkiin keskinkertainen ja korkea.</p> <p>Työstä saatavat tulokset auttoivat tuotteiden tuotekehitystä. Testituloksia ja niistä tehtyjä johtopäätöksiä hyödynnettiin tuotekehityksessä erityisesti polymeerisideaineisten julkisivulaastien kehitystyössä.</p>	
Avainsanat	märkälaasti, polymeerisideaineinen laasti, julkisivu, rappauslaasti, CE-merkintä

Author Title	Antero Soini Physical properties of polymer based mortar
Number of Pages Date	39 pages + 10 appendices 11 February 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Materials Technology and Surface Engineering
Specialisation option	
Instructors	Arto Yli-Pentti, Lecturer Jani Rutanen, Researcher Leif Wirtanen, Research Manager
<p>For this thesis research and experiments were executed to examine the properties of a polymer based façade mortar. The product was tested in different versions in order to solve the best consistency and it was also compared with another polymer based mortar and cement based mortars which were already on the market.</p> <p>The scope of the study was restricted to contain five standard tests which give important information about the properties of the mortar. Some of the five tests are mandatory in order to apply the CE-marking. In the beginning is explained the theory behind façade mortar and after that are presented the execution of the tests, the test results and the conclusions.</p> <p>Polymer based mortars were also tested with test methods designed for cement based mortars to get the best comparable result. Due to this testing it was necessary to determine how polymer based samples can be produced with a method designed to produce cement based samples.</p> <p>From the results it could be determined which of the different consistencies performed best and comparable results between polymer and cement based mortars. The relations of the test result to the classifications of the standards were also determined.</p> <p>In freeze-thaw durability test 2 out of the tested 7 mortars passed the test. Flexural strengths of the mortars were between 1,60 – 6,46 N/mm². Compressive strength could not be determined for the polymerbased mortar. Compressive strength for cement based mortars were between 8,52 – 12,18 N/mm². Three mortars passed the bond strength test. In liquid water permeability test mortars were placed in all three categories. In water-vapour transmission rate test mortars were placed in categories medium and high.</p> <p>The objective was that the results assist the product development. This objective was achieved. The test results and the conclusion of results were utilized in the product development process.</p>	
Keywords	ready-mixed mortar, polymer based mortar, façade, façade mortar, CE-marking

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Julkisivulaastien teoriaa	3
3	Rakennusmateriaalien CE-merkintä	4
4	Jäädytys-sulatuskestävyys	5
4.1	Valmistelu	5
4.2	Kokeen suoritus	8
4.3	Tulokset	9
4.4	Johtopäätökset	11
5	Taivutus- ja puristuslujuus	12
5.1	Valmistelu	12
5.2	Taivutuslujuus	12
5.2.1	Kokeen suoritus	12
5.2.2	Tulokset	14
5.2.3	Johtopäätökset	15
5.3	Puristuslujuus	15
5.3.1	Kokeen suoritus	16
5.3.2	Tulokset	16
5.3.3	Johtopäätökset	17
6	Tartunta	17
6.1	Valmistelu	18
6.2	Kokeen suoritus	19
6.3	Tulokset	20
6.3.1	Vetolujuus	20
6.3.2	Murtokuvio	21
6.4	Johtopäätökset	22
7	Vedenimevyys	23
7.1	Valmistelu	23
7.2	Kokeen suoritus	25
7.3	Tulokset	26
7.4	Johtopäätökset	27

8	Vesihöyrynläpäisevyys	28
8.1	Valmistelu	28
8.2	Kokeen suoritus	29
8.3	Tulokset	30
8.4	Johtopäätökset	33
9	Huomioita	35
10	Yhteenveto	35
	Lähteet	38
	Liitteet	
	Liite 1. Jäätymis-sulamiskestävyystestin kaikki tulokset	
	Liite 2. Taivutus- ja puristuslujuuskokeiden kaikki tulokset	
	Liite 3. Vedenimevyyskokeen kaikki tulokset ja kaavio	
	Liite 4. Vesihöyrynläpäisevyyskokeen kaikki punnitustulokset	

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkittiin polymeerisideaineisten julkisivulaastien fysikaalisia ominaisuuksia. Tutkittava polymeerisideaineinen laasti on niin sanottu märkälaasti, eli siihen on lisätty vesi jo valmistusvaiheessa ja tuote on valmistuksen myötä käyttövalmis. Sementtisideaineiset laastit myydään jauhona, johon sekoitetaan vesi työmaalla.

Työn tarkoituksena oli verrata eri koostumuksen omaavien polymeerisideaineisten laastien ominaisuuksia keskenään sekä niiden ominaisuuksia sementtisideaineisten tuotteiden ominaisuuksiin. Näistä kokeista saadut tiedot ovat osa kehitteillä olevan laastin tuotekehitystä. Kokeista saaduilla arvoilla nähdään täyttävätkö koestetut tuotteet CE-merkinnän mukaiset vaatimukset vai joudutaanko tuotteen ominaisuuksia muuttamaan. Työssä tehdyt kokeet kattavat standardeissa SFS EN 15824 ja SFS EN 998-1 esitetyt kokeet ja vaatimukset soveltuvien osin.

Tämän insinööriyön toimeksiantaja oli Tikkurila Oyj:n tutkimus- ja tuotekehitysyksikkö. Tikkurila on vuonna 1862 perustettu yritys ja nykyään se on markkinajohtaja kauppa- ja rakennusmaaleissa Suomessa, Ruotsissa, Venäjällä ja Baltian maissa. Maalien lisäksi valikoimaan kuuluu muun muassa lakat, tasoitteet, laastit, teollisuus- ja efektipinnoitteet sekä erilaisia maalaamiseen liittyviä palveluja. Vuoden 2012 liikevaihto oli 672 miljoonaa euroa ja työntekijöiden määrä 3 227. Haluan kiittää seuraavia henkilöitä: Jani Rutanen, Leif Wirtanen ja Kari Ikonen Tikkurila Oyj:stä, heidän yhteistyöstään ja työpanoksestaan liittyen tähän insinööriyöhön. [1]

Testatut laastit on suunniteltu käytettäväksi muun muassa rakennuksen julkisivuissa. Kaikissa testeissä oli mukana tuotekehityksessä oleva polymeerisideaineinen laasti kolmella eri koostumuksella, yksi jo markkinoilla oleva polymeerisideaineinen laasti sekä kolme markkinoilla olevaa sementtisideaineista laastia – kaikkiaan siis seitsemän eri laastia. Tässä työssä laasteista käytetään taulukon 1 mukaisia nimiä merkinnän ja luettavuuden helpottamiseksi.

Taulukko 1. Testattavat laastit

Polymeeri A	tuotekehityksessä oleva polymeerisideaineinen laasti, sideaineena tavanomainen styreeniakrylaatti
Polymeeri B	tuotekehityksessä oleva polymeerisideaineinen laasti, sideaineena hydrofiilisempi styreeniakrylaatti
Polymeeri C	tuotekehityksessä oleva polymeerisideaineinen laasti, kuten Polymeeri A, mutta enemmän hienoa täyteainetta
Polymeeri D	markkinoilla oleva polymeerisideaineinen laasti
Sementti E	markkinoilla oleva sementtisideaineinen laasti
Sementti F	markkinoilla oleva kalkkisementtisideaineinen laasti
Sementti G	markkinoilla oleva kalkkisementtisideaineinen laasti

Rinnakkaiset näytteet on erotettu numeroin – esimerkiksi Polymeeri A1 ja Polymeeri A2.

Työn tavoitteena oli suorittaa tarvittavat standardien ja ohjeiden mukaiset kokeet testattaville laasteille ja analysoida niistä saatuja tuloksia. Polymeerisideaineiset ja sementtisideaineiset laastit eroavat kuitenkin toisistaan esimerkiksi kuivumismekanismin osalta. Tästä syystä osassa standardeja jouduttiin soveltamaan testausmenetelmiä sopimaan kyseessä oleville laasteille.

Kokeiden standardit ja ohjeet ovat:

- SFS-käsikirja 176:n mukainen jäädytys-sulatuskestävyyskoe
- SFS EN 1015-11 + A1 (taivutus- ja puristuslujuus)
- SFS EN 1542 (tartunta)
- SFS EN 1062-3 (vedenimevyys)
- SFS EN 7783 (vesihöyrynläpäisevyys).

2 Julkisivulaastien teoriaa

Julkisivun on tarkoitus suojata rakennusta sekä antaa sille yhtenäinen ja esteettinen pinta. Erilaisia julkisivumateriaaleja ja rakenteita on olemassa monia erilaisia. Laastilla pinnoitettu julkisivu on yleinen vaihtoehto. Julkisivu ja siinä oleva laasti joutuvat kuitenkin kovalle rasitukselle pitkällä aikavälillä. Tästä syystä laastin ominaisuuksiin on kiinnitettävä huomiota, jotta julkisivu säilyisi rakenteellisesti toimivana ja esteettisenä mahdollisimman pitkään. [2]

Jäätymisestä johtuvaa vaurioitumista julkisivulaastissa kutsutaan pakkasrapautumiseksi. Jäättyessään vesi muuttuu nestemäisestä kiinteään faasiin, jolloin se järjestyy kitemäiseksi rakenteeksi ja sen tilavuus laajenee. Jos nestemäistä vettä pääsee imeytymään laastin sisään, voi se laajetessaan aiheuttaa vaurioita. Jatkuva jäätyminen ja sulaminen voi siis olla erittäin haitallista laastille, kun laasti altistetaan uudelleen ja uudelleen veden laajenemisen luomalle paineelle. [3]

Luja laasti vaatii enemmän siihen kohdistettua energiaa murtuakseen. Kahdesta saman lujuuden omaavista eri materiaaleista toinen voi olla hyvin taipuisa ja murtua sitkeästi, kun toinen voi murtua äkillisesti hyvin pienen muodonmuutoksen jälkeen. [4]

Rakennuksen julkisivu altistuu sään vaikutuksesta sateelle ja voi sokkelissa altistua maasta imeytyvälle kosteudelle. Julkisivulaasti pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, ettei vesi pääse imeytymään sen sisään. Muuten on vaarana, että sadevesi pääsee

imeytymään laastin läpi muihin rakenteisiin ja aiheuttamaan kosteusvaurioita. Mahdollisimman vähäinen vedenimeytyminen on siis julkisivulaastille haluttu ominaisuus. [5]

Jos rakenteisiin kuitenkin pääsee kosteutta, niin julkisivumateriaalin tulisi olla sellainen, joka päästää kosteuden haihtumaan rakenteesta ulos. Siksi julkisivussa suuri vesihöyrynläpäisevyys on haluttu ominaisuus. Eli ulkopuolinen kosteus pyritään pitämään ulkona ja mahdollinen rakenteisiin päässyt kosteus pyritään päästämään haihtumaan pois mahdollisimman helposti. Jos kosteus ei pääse poistumaan, voi se aiheuttaa kosteus- ja pakkasvaurioita. [6]

3 Rakennusmateriaalien CE-merkintä

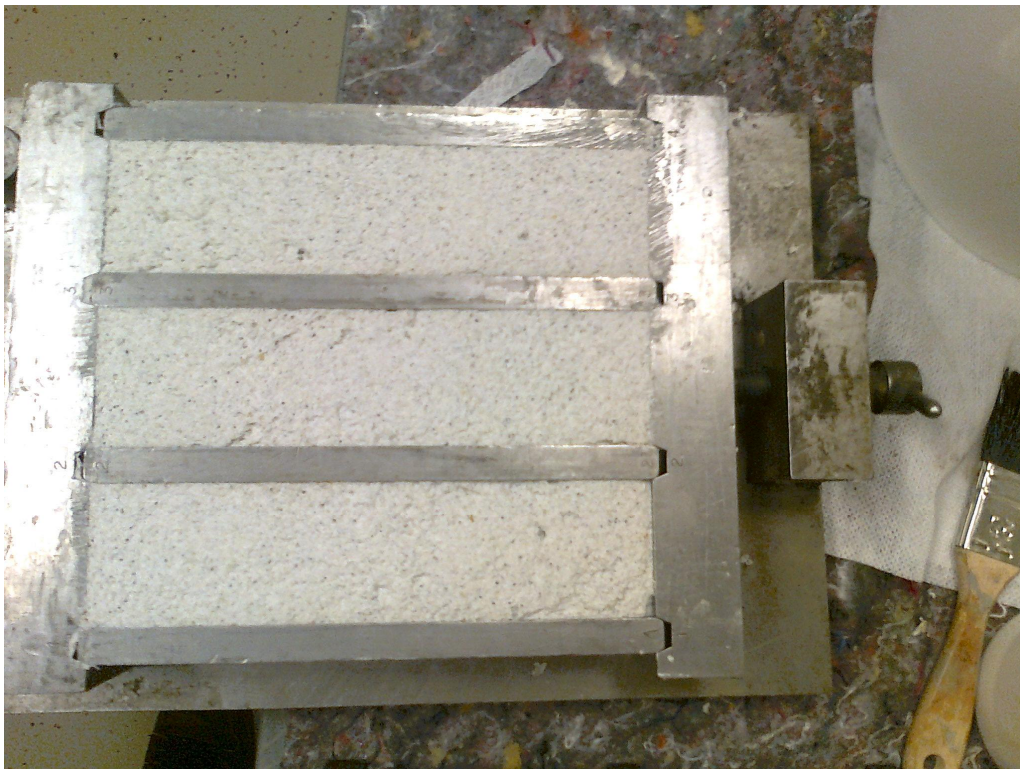
EU:n rakennustuoteasetuksen 305/2011 korvattua rakennustuotedirektiivi 89/106/ETY 1.7.2013 CE-merkintä tuli pakolliseksi kaikille rakennustuotteille, joille on voimassa oleva harmonisoitu eurooppalainen tuotestandardi. Harmonisoidussa tuotestandardissa on määritetty tuoteryhmäkohtaisesti esitettävät vaatimukset ja ominaisuudet. Jos nämä vaatimukset ja ominaisuudet täyttyvät, saa valmistaja kiinnittää tuotteeseen CE-merkin. Tämä tarkoittaa, että rakennusmateriaaleissa, jotka kuuluvat harmonisoidun tuotestandardin piiriin, täytyy olla suoritustasoilmoitus sekä CE-merkintä. Tässä työssä tehdyillä testeillä määritetään osa harmonisoidussa tuotestandardissa vaadituista ominaisuuksista, jotka suoritustasoilmoituksessa tulee ilmoittaa. [7]

CE-merkinnän mukaiset vaatimukset on määriteltynä polymeerisideaineisille laasteille standardissa SFS EN 15824 ja sementtisideaineisille laasteille standardissa SFS EN 998-1. Tehdyistä standarditesteistä SFS EN 1015-11 + A1 koskee sementtisideaineisten laastien CE-merkintää sekä standardit SFS EN 1542, 1062-3 ja 7783 koskevat polymeerisideaineisten laastien CE-merkintää. SFS-käsikirja 176:n mukainen jäädytysulatuskestävyyskoe ei ole suunniteltu tietyn sideaineen laastille, vaan julkisivulaasteille yleisesti eikä se liity CE-merkintään.

4 Jäädytys-sulatuskestävyys

4.1 Valmistelu

Standardien mukaisesti taivutus- ja puristuslujuustestien sekä jäädytys-sulatuskestävyyskokeiden koekappaleet valmistettiin standardiprismoissa (40×40×160 mm). Tämä sopii hyvin sementtipohjaisille laasteille, jotka lujittuvat sementin hydratoituessa. Polymeeripohjaiset laastit lujittuvat pääosin veden haihtuessa. Teräsmuotti kuvassa 1 estää veden haihtumisen kolmelta pitkältä sivulta ja päädyistä jättäen vain yhden sivun avoimeksi, mikä hidastaa suuresti polymeerisideaineisten laastien kuivumista. Vaikka koekappaleiden valmistusmenetelmä ei ole suunniteltu polymeerisideaineisille laasteille, haluttiin testi kuitenkin suorittaa tämän standardin mukaan. Jokaisesta testattavasta laastista valmistettiin kolme kappaletta prismoja. [8]



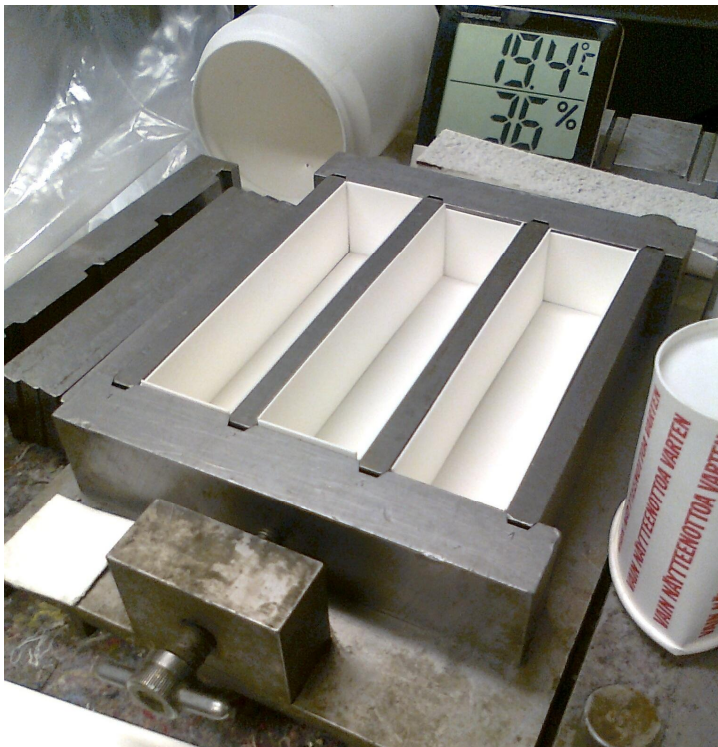
Kuva 1. Laastilla täytetty teräsmuotti.

Aluksi jouduttiin selvittämään, miten saadaan valmistettua standardin mukainen koekappale muotissa polymeerisideaineisella laastilla. Polymeerisideaineiset koekappaleet eivät säilyttäisi muotoaan muotinpurkuvaiheessa, jos ne valettaisiin muottiin sellaiseen. Kappaleen on tarkoitus pitää muotonsa ja toisaalta muotti on tarkoitus purkaa

mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta polymeerisideaineisista laasteista pääsee vesi haihtumaan ja laasti pääsee lujittumaan.

Testi aloitettiin kokeilemalla erilaisia suodatinkankaita ja pahveja teräsmuotin ja laastin välissä. Jos kangasta tai pahvia ei olisi käytetty, olisi polymeerisideaineisilla laasteilla kestänyt viikkoja tai kuukausia ennen kuin laasti olisi ollut tarpeeksi kovettunutta muotin purkamiseen sen ympäriltä. Eri materiaaleja kokeiltiin yhdeksää erilaista.

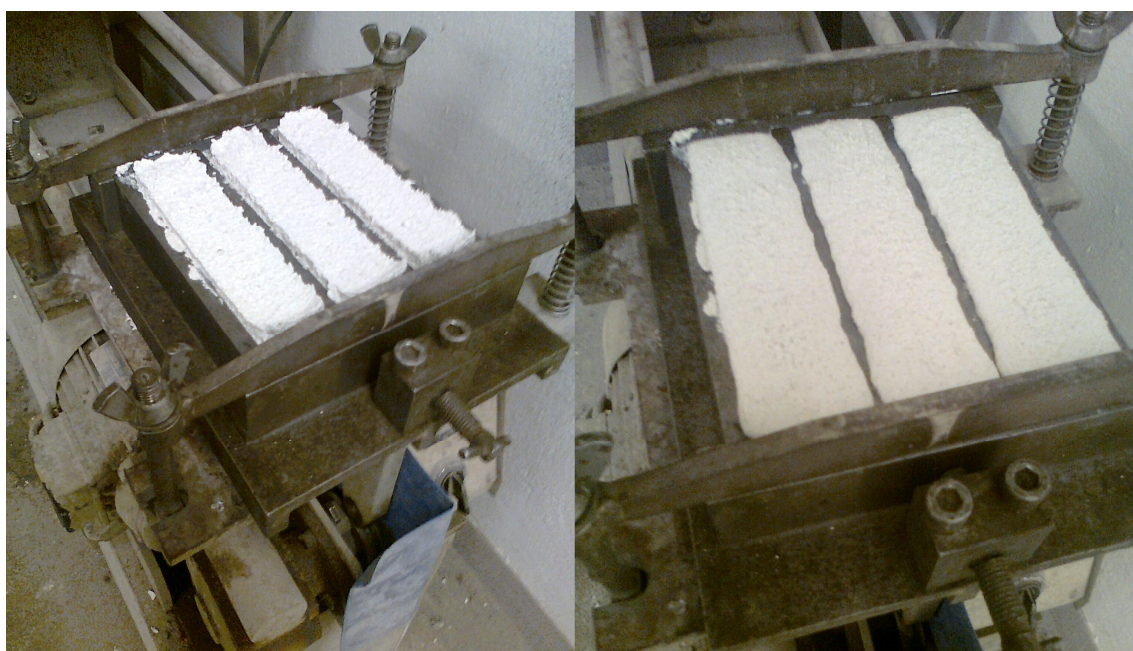
Sopivimmaksi osoittautui teollisuuden suodatusprosesseihin käytettäväksi suunniteltu pahvi, jonka paksuus on 1,10 mm ja paino 475 g/m^2 . Pahvi imee itseensä pienen määrän kosteutta laastista, mikä nopeuttaa lujittumista laastiprisman reunoilla. Sitä käyttämällä huomattiin, että muotin voi avata jo yhden vuorokauden kuluttua valamisesta. Pahvista leikattiin sopivan kokoisia paloja vuoraamaan teräsmuotin seinämät. Samanlainen pala laitettiin myös laastiprisman päällimmäiselle sivulle, jotta veden haihtuminen laastista olisi kaikilta sivuilta yhtä suurta eikä kappaleeseen muodostuisi sen takia sisäisiä jännityksiä. Kuvassa 2 on pahvilla vuorattu muotti.



Kuva 2. Teräsmuotti. Pahvivuorausta käytettiin polymeeripohjaisia laasteja varten.

Sementtiseideaineisten laastien osalta muotit käsiteltiin muottiöljyllä, jotta valmiit prismat saatiin irtoamaan muotista helposti.

Kaikkien laastien muotit täytettiin kullakin laastilla ja tärytettiin tärypöydällä, jotta prismasta saataisiin tiivis ja mahdolliset ilmakuplat poistumaan. Tärypöytä toimii siten, että muotti kiinnitetään tasoon, joka sähkömoottorin avulla nousee noin 50 mm ja pääsee sen jälkeen putoamaan vapaasti takaisin alas. Muotti tärähtää putoamisliikkeen äkillisesti pysähtyessä ja tämän jälkeen alkaa taso uudestaan nousta. Kukin muotti tärytettiin 30 kertaa. Kuvassa 3 on teräsmuotti ennen ja jälkeen täryttämisen. Täryttämisen jälkeen pinta tasattiin teräslastalla liippaamalla.



Kuva 3. Vasemmalla laastilla täytetty muotti ennen tärytystä ja oikealla tärytyksen jälkeen.

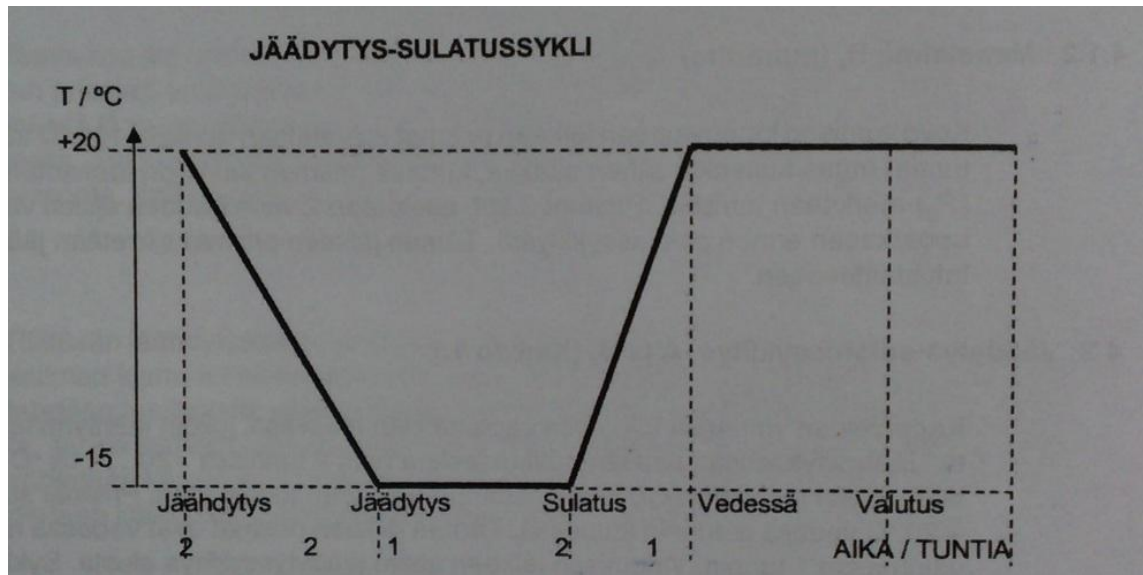
Sementtiseideaineiset prismat pidettiin ensimmäisen vuorokauden muovilla päällystettyinä, jonka jälkeen muotit purettiin ja prismat jätettiin kovettumaan huoneeseen, jossa suhteellinen ilmankosteus on 95 % ja lämpötila n. 20 °C. Säilytystä jatkettiin samoissa olosuhteissa 27 vuorokautta. Polymeeripohjaisista prismoista purettiin muotit vuorokauden kuluttua ja pidettiin sen jälkeen 27 vuorokautta olosuhteissa 50 % RH ja lämpötila 22 °C.

Polymeeriseideaineiset laastit eivät olleet lujittuneet kokonaan vielä 28 vuorokaudessa. Kun kosteus haihtuu ulos vapaina olevista pinnoista, alkaa materiaalin kovettuminen ja

tiivistyminen reunoilta sisäänpäin. Tämä hidastaa sisustan kovettumista entuudestaan. Kappaleet päätettiin testata kappaleet vasta 90 vuorokauden ikäisenä, kun niiden painonmuutos oli tasaantunut, eli niistä ei enää haihtunut vettä. Tässä vaiheessa kappaleista punnittiin alkupaino, johon kappaleiden painoa verrattiin kokeen jälkeen. Ennen kokeen aloittamista koekappaleita pidettiin kaksi vuorokautta vesiupotuksessa, jonka jälkeen ne laitettiin sääkaappiin.

4.2 Kokeen suoritus

Kappaleet asetettiin sääkaappiin, jossa kappaleet altistettiin jäätymiselle ja sulamiselle sadan syklin verran. Tämän tarkoituksena on simuloida Suomen talvisia sääolosuhteita. Kuvassa 4 on kaavio sääkaapin syklin olosuhteista.



Kuva 4. SFS-käsikirja 176:n mukainen jäädytys-sulatussykli. [9]

Taulukossa 2 on esitetty jäädytys-sulatussyklin aikataulutus:

Taulukko 2. Jäädytys-sulatussyklin aikataulutus.

jäähdytys	jäädytys	sulatus	vedessä	valutus
2 h	2 h	1 h	2 h	1 h

Kappaleet altistettiin sadalle taulukon 2 mukaiselle syklille, jonka jälkeen polymeeripohjaiset kappaleet pidettiin uunissa 50 °C:een lämpötilassa 7 vuorokauden ajan. Sen jälkeen kappaleet punnittiin ja pidettiin uudelleen uunissa 50 °C:een lämpötilassa 10 vuorokauden ajan, jotta nähtiin, ettei painonmuutosta enää tapahdu. Sementtiseideaineisille kappaleille tehtiin sama, mutta lämpötilassa 105 °C.

4.3 Tulokset

Tuloksena tarkastellaan painohäviötä. Painohäviö, P_h ilmoitetaan prosentteina alkupainosta P_a . Painonmuutos saa olla korkeintaan 0,5 %. Painohäviö lasketaan kaavalla 1:

$$P_h = (P_a - P_l) 100 \% / P_a, \quad (1)$$

jossa P_l on loppupaino. [9]

Laastien alku- ja loppupainojen sekä painohäviöiden keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 3. Kaikkien koekappaleiden tulokset ovat liitteessä 1.

Taulukko 3. Jäädytys-sulatustestin alku- ja loppupainojen sekä painohäviöiden keskiarvot.

Laasti	Alkupaino P_a (g) ka	Loppupaino P_l (g) ka	Painohäviö P_h (%) ka
Polymeeri A	243,93	236,43	3,07
Polymeeri B	236,45	229,69	2,86
Polymeeri C	242,49	235,53	2,87
Polymeeri D	285,28	284,07	0,42
Sementti E	300,19	298,76	0,47
Sementti F	386,79	381,78	1,30
Sementti G	354,24	349,36	1,38

SFS-käsikirja 176 määrittää, että painohäviö saa olla korkeintaan 0,5 % lähtöpainosta kaavan 1 mukaan. [9]

Laastit, joiden painohäviö oli korkeintaan 0,5 %:

- Polymeeri D
- Sementti E.

Laastit, joiden painohäviö oli yli 0,5 %:

- Polymeeri A
- Polymeeri B
- Polymeeri C
- Sementti F
- Sementti G.

4.4 Johtopäätökset

Kaikki koekappaleet eivät kestäneet kokeen olosuhdemuutoksien aiheuttamaa rasitusta täysin ehjinä. Kuvassa 5 näkyy Polymeeri B2-koekappaleen päädystä irronnut pala. Muissa kappaleissa ei ollut yhtä isoa puuttuvaa kohtaa, mutta vastaavia pienempiä paloja oli havaittavissa irronneen myös muista koekappaleista. Eniten materiaalia näyttää lähteneen reunoista ja kulmista. Osa painohäviöstä voi mahdollisesti johtua vesiliukoisten aineiden liukenemisesta upotusveteen.



Kuva 5. Koekappaleen päädystä on irronnut testin rasituksen vuoksi pala.

Vaadittuun painohäviötasoon pääsi siis yksi polymeerisideaineinen ja yksi sementtisideaineinen laasti. Muista laasteista valmistetuista koepaloista irtosi liikaa materiaalia pakkasrapautumisen johdosta. Polymeerisideaineisten laastien ollessa vesiohenteisia, on mahdollista, että niistä on liuennut vesiliukoisia aineita vesiupotuksessa.

5 Taivutus- ja puristuslujuus

Taivutus- ja puristuslujuuskokeella saadaan määritettyä koekappaleiden puristus- ja vetolujuus. Standardin SFS EN 1015-11 + A1 mukaisessa testissä laite kuormittaa laastista valmistettua kappaletta ja mittaa siihen kohdistetun voiman. Laite laskee käytetystä voimasta ja kappaleen mitoista kappaleeseen kohdistuneen puristusvoiman yksikössä N/mm^2 . Oleellinen arvo, joka tällä kokeella määritetään, on murtolujuus. Koe suoritettiin standardin SFS EN 1015-11 + A1 mukaan. [10]

5.1 Valmistelu

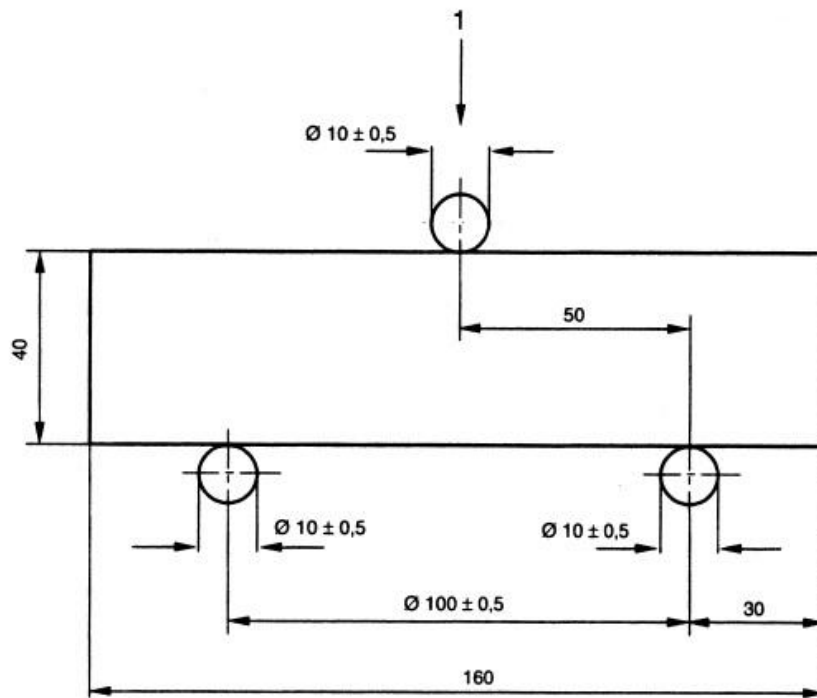
Taivutus- ja puristuslujuuskokeessa käytettiin sama määrä samalla tavalla teräs- muotissa valmistettuja kappaleita kuin SFS-käsikirja 176:n jäädytys- sulatuskestävyyskokeessa (ks. kappale 4.1) ja käytettiin samaa 90 vuorokauden kuivumisaikaa. Tämän testin valmisteluihin ei kuulu kappaleiden vesiupotusta.

Koestusta varten lujuustestauslaitteeseen määriteltiin testaustyyppi, koekappaleen mitat, käytettävä maksimivoima ja voimanmuutos, jonka jälkeen laite lopettaa kokeen. Kun koe käynnistetään, laite hoitaa koestuksen automaattisesti ja tallentaa siitä kerätyt tiedot. Koe loppuu automaattisesti ennalta määritellyn voimanmuutoksen mukaan, eli käytännössä silloin, kun kappaleen murtuman myötä sen kyky sitoa itseensä energiaa äkillisesti pienenee. Jos tätä voimanmuutosarvoa ei saavuteta, loppuu koe viimeistään silloin, kun laitteen kuormittavien osien ylä- ja alapinnat tulevat liian lähelle toisiaan. Tämä raja säädetään manuaalisesti testaustyyppin ja kappaleen mittojen mukaan.

5.2 Taivutuslujuus

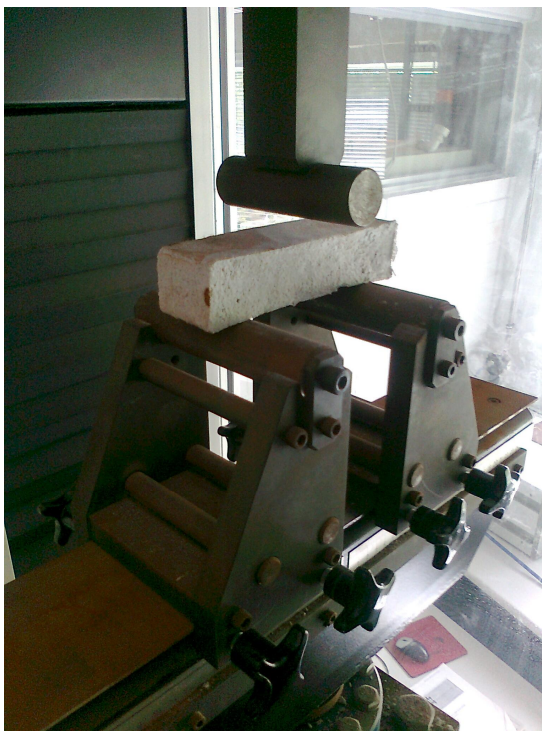
5.2.1 Kokeen suoritus

Taivutuslujuus mitattiin määrittämällä murtolujuus kolmipistetaivutuksena kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6. Taivutuslujuuskoe kolmipistetaivutuksena (mitat mm ja 1 = kuorma). [10]

Kuvassa 7 on kuvan 6 mukaan aseteltu koekappale lujustestauslaitteessa.



Kuva 7. Koekappale valmiina taivutuslujuuskokeeseen.

Kuvassa 8 on polymeeri- ja sementtiseideaineiset koekappaleet kokeen jälkeen. Polymeeriseideaineisen kappaleen kuormituksessa kuormittava varsi on käynyt alempana, koska kappaleen materiaali on joustavampaa ja sitkeämpää kuin jäykemmässä ja hauraammassa sementtiseideaineisessa kappaleessa.



Kuva 8. Vasemmalla polymeeriseideaineinen ja oikealla sementtiseideaineinen lujuuskoestamalla murrettu koekappale.

5.2.2 Tulokset

Standardin mukaan tulos ilmoitetaan koekappaleiden taivutuslujuuksien keskiarvona. Nämä arvot ovat taulukossa 4. Kaikkien kappaleiden taivutuslujuudet ovat liitteessä 2.

Taulukko 4. Koekappaleiden taivutuslujuuskeskiarvot laasteittain.

Laasti	Taivutuslujuus (N / mm ²)
Polymeeri A	1,86
Polymeeri B	1,60
Polymeeri C	1,78
Polymeeri D	6,46
Sementti E	3,55
Sementti F	4,19
Sementti G	4,33

5.2.3 Johtopäätökset

Heikoimmat taivutuslujuudet olivat laasteilla Polymeeri A, B ja C. Keskenään näillä kolmella ei ollut suurta eroa. Suurin taivutuslujuus oli laastilla Polymeeri D, joka on selvästi myös koostumukseltaan erilainen kuin muut testatut polymeerisideaineiset laastit. Sementtisideaineiset laastit Sementti E, F ja G sijoittuvat näiden laastien väliin laastien Sementti F ja G ollen lähellä toisiaan ja laastin Sementti E hieman niitä heikompi.

5.3 Puristuslujuus

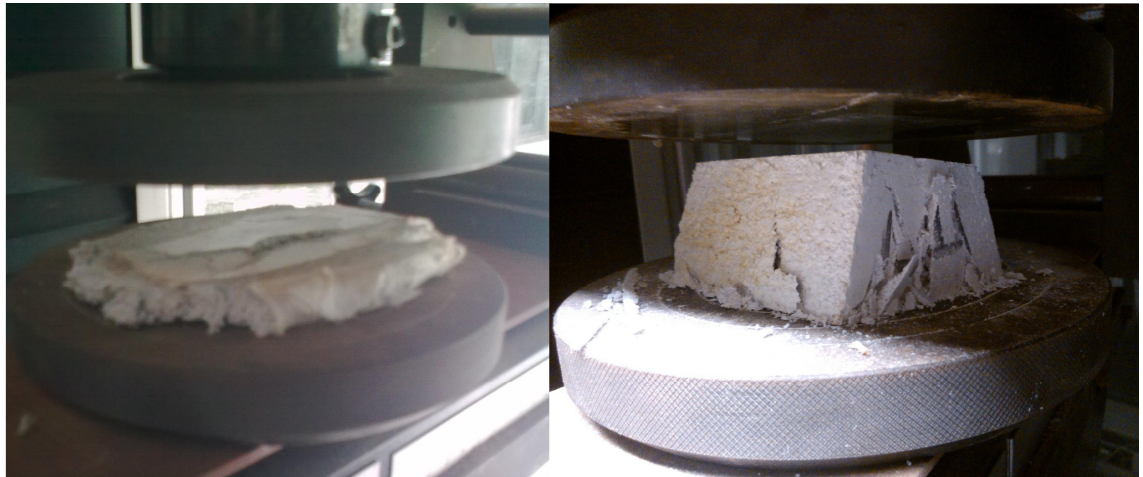
Kokeessa käytettiin taivutuslujuuskokeessa poikki taivutetun kappaleen toista puolikas-ta. Laitteeseen muutettiin kappaleen mitat ja testaustyyppi oikeiksi. Kappaletta taivuttavat tangot vaihdettiin kuvassa 9 näkyviin levyihin, joiden väliin kappale jää puristukseen.



Kuva 9. Materiaalintestauslaitteen puristuslujuuskoelevyt.

5.3.1 Kokeen suoritus

Polymeerisideaineisilla laasteilla tehdyt kappaleet olivat niin joustavia, että niille ei saatu määritettyä murtolujuutta. Kuormittaessa kappaleet puristuivat ja levisivät joustavasti kuormittavia levyjä vasten. Sementtisideaineiset laastit olivat tarpeeksi hauraita, että niille saatiin määritettyä murtumispiste. Kuvassa 10 on havainnollistettuna ero polymeeri- ja sementtisideaineisten laastien käyttäytymisestä puristuslujuuskokeessa.



Kuva 10. Vasemmalla polymeerisideaineinen ja oikealla sementtisideaineinen koekappale puristuslujuuskokeen jälkeen.

5.3.2 Tulokset

Standardin mukaan tulos ilmoitetaan koekappaleiden puristuslujuuksien keskiarvona. Koekappaleiden puristuslujuuksien keskiarvot on esitettyinä taulukossa 5. Kaikki puristuslujuuskoetulokset ovat liitteessä 2.

Taulukko 5. Koepalojen puristuslujuuksien keskiarvot laasteittain.

Laasti	Puristuslujuus (N / mm ²)
Polymeeri A	-
Polymeeri B	-
Polymeeri C	-
Polymeeri D	-
Sementti E	8,52
Sementti F	12,18
Sementti G	9,80

5.3.3 Johtopäätökset

Polymeerisideaineisilla laasteilla tehdyt kappaleet olivat niin joustavia, että niille ei saatu määritettyä murtolujuutta. Kuormittaessa kappaleet puristuivat ja levisivät joustavasti kuormittavia levyjä vasten. Tämä tekee polymeerisideaineisten laastien vertaamisen sementtisideaineisiin laasteihin siltä osin hankalaksi. On myös mahdollista, että kappaleiden paksuudesta johtuen kappaleet eivät olleet keskeltä täysin kuivia 90:n päivän jälkeenkään. Polymeerisideaineisten laastien lujuuden mittaamiseksi taivutuslujuus sopii paremmin kuin puristuslujuus.

6 Tartunta

Tartuntatesti tehtiin standardin SFS EN 1542 mukaisesti. Tartuntatestillä mitataan alustassa kiinni olevasta laastipinnasta vetolujuus, eli kuinka paljon voimaa pinta-alaa kohden tarvitaan laastin murtamiseen vedettäessä laastia alustasta kohtisuoraan poispäin. Korkea vetolujuusarvo kertoo hyvästä tarttuvuudesta ja lujasta laastista, joten korkea vetolujuus on usein haluttu ominaisuus. Koe on melko yksinkertainen ja se on helppo suorittaa myös työmaalla valmiille laastipinnalle. Kokeen suoritusta varten laastin pintaan liimataan vetonappi. Eri kerrokset pinnasta alustaan päin ovat:

- vetonappi
- liima
- laasti
- alusta.

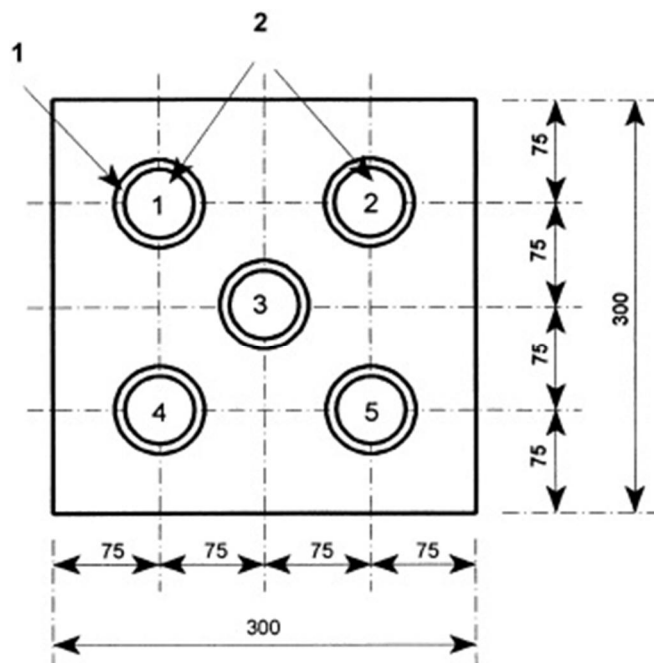
Kun vetonappia vedetään alustasta poispäin, murtuma voi tapahtua missä tahansa näistä neljästä kerroksesta tai niiden välillä. Jos murtuma tapahtuu aineen sisällä, on kyseessä koheesiomurtuma, jos aineiden välillä, on kyseessä adheesiomurtuma. Murtuma voi olla myös näiden kahden yhdistelmä. Periaatteessa murtuma voisi tapahtua minkä tahansa näiden neljän aineen sisällä, välissä tai näiden yhdistelmänä, mutta käytännössä vetonapin materiaali, liima ja alusta on määritelty sen mukaan että ne

ovat laastia lujempia, jotta murtuma tapahtuu laastin sisällä, laastin ja alusta välillä tai näiden yhdistelmänä. [11]

6.1 Valmistelu

Alustoina käytettiin peitattuja betonilaattoja, jotka olivat leveydeltään ja pituudeltaan 300 mm ja paksuudeltaan 100 mm. Pinnoitteet levitettiin valmistajan ohjeiden mukaan. Koska testattavat laastit ovat pystypinnoille käytettäväksi suunniteltuja, kappaleet pidettiin pinnoitettaessa ja kuivuessa pystyasennossa, jotta laastin pinta saataisiin mahdollisimman samanlaiseksi kuin jos testialusta olisi esimerkiksi työmaalla pinnoitettava seinä.

Noin tunti pinnoittamisen jälkeen sementtipohjaiset laastit kostutettiin runsaalla vedellä ja peitettiin muovilla. Polymeeripohjaisten laastien annettiin kuivua sellaisenaan. Kuivuttuaan 28 vuorokautta kappaleisiin porattiin lieriöporalla 5 kappaletta vetokoekohtia siten, että poranterä ulottui alustaan 15 mm syvyyteen. Porauskohdat olivat kuvan 11 mukaan.



Kuva 11. Tartuntakoepalojen porauskohdat. [11]

Poraamisen jälkeen laastipinnat puhdistettiin paineilmalla ja harjaamalla. Lieriöporan erottaman ympyrän pintaan liimattiin kiinni vetonapit ja annettiin liiman kuivua. Koepaloja vetonapit lisättyinä ovat kuvassa 12.



Kuva 12. Tartuntakoepaloja vetonappien liimaamisen jälkeen.

6.2 Kokeen suoritus

Koe suoritettiin irtivetolaitteella Proceq Dyna Z6. Vetonappiin kierrettiin kiinni lyhyt tanko, jonka päässä on kuula. Vetolaite asetettiin vetonapin päälle ja kuula asetettiin vetolaitteen alla olevan varren hahloon. Vetonappiin kierretty tanko ja vetolaite ovat kuvassa 13.



Kuva 13. Vasemmalla vetonappiin kierretty tanko ja oikealla vetokoealaite koepalan päällä.

Kääntämällä vetolaitteen kampea alkaa varsi nostaa vetonappia mukanaan, kunnes jostain kohtaa rakenne murtuu. Laite näyttää murtumiseen vaaditun voiman.

6.3 Tulokset

6.3.1 Vetolujuus

Kaikista seitsemästä koepalasta saatiin viisi tulosta kustakin, paitsi muutamassa vetonapissa tapahtui osittainen liiman adheesiomurtuma. Vetokoetulokset ovat taulukossa 6.

Taulukko 6. Vetokoekappaleiden vetolujuuskoetulokset. Numerot 1 - 5 edustavat vetokoekohtia kuvan 6 mukaisesti.

Koekappale	1 (N / mm ²)	2 (N / mm ²)	3 (N / mm ²)	4 (N / mm ²)	5 (N / mm ²)	keskiarvo
Polymeeri A	0,66	0,87	0,65	0,96	0,91	0,81
Polymeeri B	0,20	0,22	0,18	0,20	0,21	0,20
Polymeeri C	1,25	0,45	0,40	0,26	1,25	0,72
Polymeeri D	1,39	1,12	1,22	1,39	1,50	1,32
Sementti E	0,72	0,47	0,75	0,59	0,57	0,62
Sementti F	0,28	0,21	0,26	0,21	0,21	0,23
Sementti G	0,16	0,04	0,13	0,11	0,11	0,11

6.3.2 Murtokuvio

Murtokuvio on murretun pinnan murtuneiden pintojen osuuksien silmämääräinen arvio, josta selviää mistä kohtaa rakenne on murtunut. Standardin mukaan eri kerroksia tai osia merkataan tietyllä kirjaimella ja prosenttiosuus kuvaa kerroksen sisällä tai kerroksien välillä tapahtuneen murtuman osuutta kokonaismurtumasta. Kerrokset testatuilla laasteilla ovat:

- A = alusta
- B = laasti
- Y = liima
- Z = vetonappi.

Esimerkiksi merkintä B = 100 % tarkoittaa, että koko murtunut pinta on laastin koheesiomurtumaa ja merkintä A/B : B : Y/Z = 5 % : 70 % : 25 % tarkoittaa, että murettusta pinnasta 5 % on alustan ja laastin välistä adheesiomurtumaa, 70 % on laastin koheesiomurtumaa ja 25 % liiman ja vetonapin välistä adheesiomurtumaa. Kuvassa 14 on esimerkkikuvat laastin koheesiomurtumasta, laastin ja alustan välisestä adheesiomurtumasta, näiden yhdistelmästä sekä liiman adheesiomurtumasta.



Kuva 14. Vasemmalta oikealle: laastin koheesiomurtuma, laastin ja alustan välinen adheesiomurtuma, näiden yhdistelmä sekä liiman adheesiomurtuma + laastin koheesiomurtuma.

Taulukossa 7 on merkattu koekappaleiden murtokuviot.

Taulukko 7. Tartuntakokeen koekappaleiden murtokuviot.

Laasti	1	2	3	4	5
Polymeeri A	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 5 % : 95 %
Polymeeri B	A/B : B = 10 % : 90 %	A/B : B : Y/Z = 5 % : 70 % : 25 %	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 15 % : 85 %	B : Y/Z = 25 % : 75 %
Polymeeri C	B = 100 %	B : B/Y = 95 % : 5 %	B : B/Y = 95 % : 5 %	B : B/Y = 90 % : 10 %	B : B/Y = 90 % : 10 %
Polymeeri D	A/B = 100 %	A/B = 100 %	A/B : B = 95 % : 5 %	A/B = 100 %	A/B = 100 %
Sementti E	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 10 % : 90 %	B = 100 %	A/B : B = 50 % : 50 %	A/B : B = 70 % : 30 %
Sementti F	A/B : B = 10 % : 90 %	A/B : B = 5 % : 95 %	A/B : B = 20 % : 80 %	A/B : B = 10 % : 90 %	A/B : B = 5 % : 95 %
Sementti G	A/B = 100 %	A/B = 100 %	A/B = 100 %	A/B = 100 %	A/B = 100 %

6.4 Johtopäätökset

CE-merkintää koskevassa standardissa SFS EN 15824 määritellään, että standardin SFS EN 1542 -mukaisessa tartuntakokeessa kaikkien mitattujen arvojen on oltava vähintään 0,3 MPa. [11]

Sen mukaan vaatimuksen täyttävät laastit:

- Polymeeri A
- Polymeeri D
- Sementti E.

Laastit, jotka eivät täytä standardin vaatimusta:

- Polymeeri B
- Polymeeri C
- Sementti F
- Sementti G.

Polymeeri C -laastilla ainoastaan yksi arvo on alle 0,3 N / mm² ja viiden vetokokeen keskiarvo on reilusti sen yli, joten uusittaessa koe olisi todennäköistä, että Polymeeri C läpäisisi vaatimuksen. Tässä vetokohdassa oli myös pieni liiman adheesiomurtuma.

Liiman osittainen adheesiomurtuma tapahtui Polymeeri B -laastin vetokohdissa 2 ja 5. Polymeeri B -laasti ei kuitenkaan ylittänyt vetolujuutta $0,3 \text{ N} / \text{mm}^2$ millään muullakaan vetokohdalla, joissa murtuma tapahtui laastin sisällä tai laastin ja alustan välillä.

Murtokuvioista nähdään, että kehiteltävän laastin kaikissa versioissa (Polymeeri A-C) suurin osa murtumasta tapahtuu laastin koheesiomurtumana. Jos tartunta-arvoja halutaan parantaa, on parannettava laastin vetolujuutta. Alustaan tarttumisen parantaminen ei hyödyttäisi, koska laasti itsessään murtuu silti, vaikka se olisi paremmin alustassa kiinni.

7 Vedenimevyys

7.1 Valmistelu

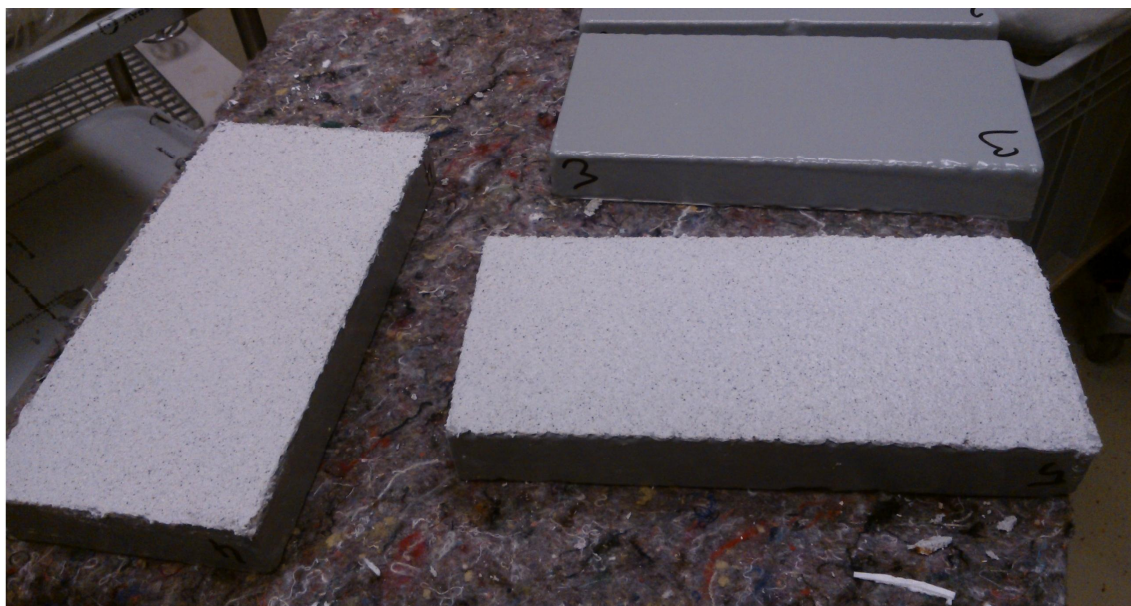
Vedenimevyydestä tehtiin standardin SFS EN 1062-3 mukaan. Koepalojen alustoina käytettiin kalkkiahiekkatiiliä, koska standardi vaatii käytettäväksi alustaa, jonka vedenimukyky on yli $1 \text{ kg/m}^2/\sqrt{\text{h}}$. Kalkkiahiekkatiilet olivat leveydeltään 130 mm, pituudeltaan 270 mm ja paksuudeltaan 35 mm.

Tiilen isoista pinnoista toinen pinnoitettiin valmistajan ohjeiden mukaan. Koekappaleiden annettiin kovettua 7 vuorokautta vakiohuoneessa olosuhteissa $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ja 50 % RH. Muut pinnat suljettiin kovettumisen jälkeen ruiskuttamalla niihin kaksi kerrosta epoksi-maalaa. Epoksimaalia ruiskutetaan koekappaleisiin kuvassa 15. Rinnakkaisia näytteitä tehtiin kolme kappaletta.



Kuva 15. Kalkkietukatiiltien ruiskutus epoksimaalilla.

Laastilla pinnoitetun sivun reunat suljettiin kahdella kerroksella epoksimaalia 14 mm leveydeltä. Epoksimaalin pinta on niin tiivis, että vesi ei pääse imeytymään siihen tai sen läpi. Jos koekappaleeseen imeytyy vettä, se tapahtuu laastilla pinnoitetulta sivulta laastin pinta-alalta. Kuvassa 16 on näytteet 4 ja 5 laastipinta ylöspäin ja näyte 3 laastipinta alaspäin.



Kuva 16. Vedenimevyyskoepaloja ennen laastipinnan reunojen epoksimaalausta.

Koekappaleiden annettiin kuivua 7 vrk vetokaapissa.

Ennen kokeen aloittamista kappaleet esikäsiteltiin seuraavasti:

- kolme sykliä:
 - 24 h säilytys vedessä (vesi vaihdetaan syklien välissä) 22 °C
 - 24 h kuivaus uunissa 50 °C,
- jonka jälkeen 24 h kuivaus uunissa 50 °C sekä 24 h vakiohuoneessa olosuhteissa 22 °C ja 50 % RH.

Astioihin laitettiin 24 h ennen kokeen aloittamista pohjalle teräsritilät ja lämpötilaltaan noin 20 °C vettä sen verran, että veden pinta yletti hieman yli teräsritilän yläpinnan. Näin varmistuttiin, että kaikissa astioissa on samaa huoneenlämpöistä vettä. Mahdollista veden lisäämisen tarvetta varten otettiin ämpärillinen vettä 24 h ennen kokeen aloittamista vakioitumaan. Teräsritilät säädettiin korkeuteen, jossa niiden yläpinta oli vähintään 10 mm korkeammalla kuin astian pohja. Koekappaleet punnittiin ennen kokeen aloittamista.

7.2 Kokeen suoritus

Koekappaleet asetettiin muoviasioihin teräsritilöiden päälle laastilla pinnoitettu sivu alaspäin ja tarkastettiin, että veden pinta yltää 5 - 10 mm koekappaleiden alapinnan yläpuolelle. Uputuksessa olevia koekappaleita astioissa on kuvassa 17.



Kuva 17. Vedenimevyyskoekappaleita upotusastioissa.

Kappaleet punnittiin ajan hetkillä taulukon 8 mukaisesti.

Taulukko 8. Vedenimeytyskoekappaleiden punnitusajat kokeen alkamisesta.

0 min	10 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	24 h
-------	--------	--------	-----	-----	-----	-----	------

Ennen punnitsemista kappaleet pyyhittiin kuiviksi.

7.3 Tulokset

Tulos w (water transmissibility), veden kulkeutuvuus, ilmaistaan vähintään kolmen näytteen keskiarvona muodossa painonlisäys [kg] / näytteen pinta-ala [m²] / $\sqrt{\text{upotusaika [h]}}$. Tätä arvoa laskettaessa käytetään upotusaikaa 24 h. Muut punnitsemisajat ovat vedenimeytyvistä kuvaavan suoran muodostamista varten, josta voidaan saada tärkeää tietoa laastin vedenimikykyvystä. [5]

Tulos w lasketaan kaavalla 2:

$$w = (m_{24} - m_0) / A / \sqrt{24} \quad (2)$$

jossa:

- m_{24} = näytteen paino 24 h upotuksen jälkeen [kg]
- m_0 = näytteen paino ennen upotuksen aloittamista [kg]
- A = näytteen pinta-ala [m²]
- $\sqrt{24}$ = ajan neliöjuuri [h].

Vedenimevyysskokeen tulokset ovat taulukossa 9. Tulos on kolmen näytteen keskiarvo.

Taulukko 9. Vedenimevyysskokeen tulokset w .

Laasti	w
Polymeeri A	0,17
Polymeeri B	0,27
Polymeeri C	0,40
Polymeeri D	0,03
Sementti E	0,98
Sementti F	0,26
Sementti G	1,16

Kaikki punnitustulokset ja vedenimeytymistä kuvaava kaavio ovat liitteessä 3.

7.4 Johtopäätökset

Standardin SFS EN 15824 mukaan rappauslaastien vedenläpäisevyys on määritettävä standardin SFS EN 1062-3 mukaisesti ja luokiteltava taulukossa 10 annettujen arvojen mukaisesti. [12]

Taulukko 10. Rappauslaastien vedenläpäisevyysluokkataulukko. [12]

Luokka		Vaatus w $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
W_1	Korkea	$> 0,5$
W_2	Keskinkertainen	$\leq 0,5$
		$> 0,1$
W_3	Matala	$\leq 0,1$

Testatut laastit kuuluvat seuraaviin luokkiin:

- Polymeeri A W_2 keskinkertainen
- Polymeeri B W_2 keskinkertainen
- Polymeeri C W_2 keskinkertainen
- Polymeeri D W_3 matala
- Sementti E W_1 korkea
- Sementti F W_2 keskinkertainen
- Sementti G W_1 korkea.

Koska pieni vedenimevyys on haluttu ominaisuus, luokat menevät paremmuusjärjestyksessä $W_1 - W_3$ siten, että W_1 on huonoin ja W_3 on parhain.

8 Vesihöyrynläpäisevyys

8.1 Valmistelu

Laastien vesihöyrynläpäisevyys testattiin standardin SFS EN 7783 mukaisesti. Vesihöyrynläpäisevyyttä varten laasteista valmistettiin pyöreitä näytelevyjä 5 mm paksuisel-

la muotilla, jolloin kuivapaksuudeksi jäi 3 - 4 mm vastaten käytännön pinnoitepaksuutta. Polymeeripohjaisten näytteiden annettiin kovettua 28 vuorokautta olosuhteissa 22 °C ja 50 % RH. Sementtipohjaisten näytteiden annettiin kovettua muuten samoin, mutta ne kasteltiin vedellä noin 1 h valmistamisen jälkeen ja peitettiin muovilla. Näytteet valmistettiin käytettäväksi ilman alustaa. Valunaikaisen alustan ja näytteen välissä käytettiin kangasta, joka irrotettiin näytteiden kovetuttua näytteestä ja alusta.

Kovetuttuaan 28 vrk näytteet asetettiin kumirenkaiden päälle lasisiin astioihin, joihin oli lisätty ionivaihdeltua vettä. Yksi Sementti F -laastin koepaloista särkyi sen reunoja pyöristettäessä, joten Sementti F -laastille saatiin vain kaksi tulosta. Lasikuppien ja laastiekikkojen reunat tiivistettiin asettamalla pyöreä teräsmuotti näytteen päälle ja sulattamalla parafiiniä muotin ja lasikupin reunan väliin. Parafiinin hetken aikaa jäähdyttyä muotti poistettiin. Kuvassa 18 on valmiita näytteitä.



Kuva 18. Vesihöyrynläpäisevyyskokeen valmiita näytteitä

Näytteet vietiin vakiohuoneeseen ja koe aloitettiin seuraavana päivänä, kun kuuman parafiinin lämpötila oli ehtinyt tasaantua.

8.2 Kokeen suoritus

Näytteet pidettiin kokeen ajan vakiohuoneessa olosuhteissa 22 °C ja 50 % RH. Näytteet punnittiin vuorokauden välein viikonloppuja lukuun ottamatta. Koe lopetettiin kun painon vähentyminen vuorokautta kohden oli tasaantunut.

8.3 Tulokset

Punnitustuloksista tehtiin kunkin näytteen painohäviötä kuvaava kaavio. Kaikki punnitustulokset ja kaavio ovat liitteessä 4. Punnituista tuloksista laskettiin painohäviö Δm_i kaavalla 3:

$$\Delta m_i = \frac{(m_1 - m_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

jossa:

- m_1 = lähtöpaino [mg]
- m_2 = punnittu paino aikana t_2 [mg]
- t_1 = lähtöaika [h]
- t_2 = kulunut aika lähtöajan jälkeen [h]. [6]

V-arvo, eli vesihöyryn siirtonopeus (water-vapor transmission rate) lasketaan kaavalla 4:

$$V = \frac{240 \times \Delta m_i}{A_i} \quad (4)$$

jossa:

- Δm_i = kaavalla 3 laskettu painohäviö [mg]
- A_i = näytteen pinta-ala [cm²]. [6]

Laastien V -arvot ovat edempänä koottuna taulukoon 11 ja kaikkien koekappaleiden V -arvot ovat liitteessä 4.

S_d -arvo, eli diffuusio ilmoitettuna ilmakerroksen paksuutena (diffusion-equivalent air-layer thickness), lasketaan kaavalla 5:

$$S_d = \frac{\delta_L}{\delta} \quad (5)$$

jossa:

- δ = laastin vesihöyrynläpäisevyyshokkuus [g/24h/Pa]
- δ_L = ilman vesihöyrynläpäisevyyshokkuus [g/24h/Pa]. [6]

Laastin vesihöyrynläpäisevyyshokkuus lasketaan käyttämällä V -arvoa kaavalla 6:

$$\delta = \frac{V \times d}{\Delta p} \quad (6)$$

jossa:

- d = laastin paksuus [m]
- Δp on pinnoitteen eri puolien välinen paine-ero [Pa]. [6]

Ilman vesihöyrynläpäisevyyshokkuus lasketaan kaavalla 7:

$$\delta_L = \frac{0,083 \times p_0 \times T^{1,81}}{R_v \times T \times p \times 273^{1,81}} \quad (7)$$

jossa:

- p_0 = normaali ilmanpaine, 1 013,25 hPa
- T = lämpötila [K]
- R_v = vesihöyryn kaasuvakio, 462 Nm kg⁻¹ K⁻¹
- p = mittausolosuhteiden ilmanpaine. [6]

Laastien S_d -arvot ovat edempänä koottuna taulukoon 11 ja kaikkien koekappaleiden S_d -arvot ovat liitteessä 4.

Laastien μ -arvot, eli vesihöyryn läpäisykerroin (water-vapor permeability coefficient) lasketaan käyttämällä ensin kaavaa 8:

$$\Lambda = \frac{1}{A \Delta p / (\Delta G / \Delta t) - R_A} \quad (8)$$

jossa:

Λ = vesihöyryn läpäisevyys [kg / m² · s · Pa]

A = astian avoimen osan pinta-ala [m²]

Δp = laastin eri puolien vesihöyrynpaineiden erotus [Pa]

$\Delta G / \Delta t$ = vesihöyryvirta [kg / s]

R_A = astiassa olevan ilman vesihöyryn vastus, $0,048 \times 10^9 \text{ Pa m}^2 / \text{kg 10 mm:n ilmakerrosta kohden}$. [13]

Kaavalla 9 saadaan laskettua Λ -arvosta μ -arvo:

$$\mu = \frac{1,94 \cdot 10^{-10}}{\Lambda} \quad (9)$$

jossa:

- $1,94 \cdot 10^{-10}$ = ilman vesihöyryn läpäisykerroin lämpötilassa 20 °C ja ilmanpaineessa $101\,325 \text{ Pa}$. [13]

Laastien μ -arvot ovat koottuna taulukkoon 11 ja kaikkien koekappaleiden μ -arvot ovat liitteessä 4.

Taulukko 11. Laastien V -, S_d - ja μ -arvot

Laasti	V -arvo	S_d -arvo	μ -arvo
Polymeeri A	58,21	0,29	65,96
Polymeeri B	66,97	0,23	51,81
Polymeeri C	53,76	0,29	66,55
Polymeeri D	18,44	1,00	233,84
Sementti E	154,59	0,10	20,73
Sementti F	130,33	0,13	26,10
Sementti G	114,66	0,14	28,82

8.4 Johtopäätökset

Standardin SFS EN 15824 mukaan rappauslaastit määritellään vesihöyrynläpäisynopeusluokkiin standardin SFS EN 7783 taulukon 12 mukaisesti.

Taulukko 12. Vesihöyrynläpäisy nopeusluokat. [12]

Luokka		Vaatus	
		Vesihöyrynläpäisy nopeus V $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	Diffuusio ilmoitettuna ilmakerroksen paksuutena s_d m^a
V_1	Korkea	> 150	$< 0,14$
V_2	Keskinkertainen	≤ 150 > 15	$\geq 0,14$ $< 1,4$
V_3	Matala	≤ 15	$\geq 1,4$

^a Diffuusion arvot (s_d), jotka ilmoitetaan saman diffuusion omaavan ilmakerroksen paksuutena, määritetään standardin EN ISO 7783-2 mukaisesti.

Täten laastit kuuluvat seuraaviin luokkiin:

- Polymeeri A V_2 keskinkertainen
- Polymeeri B V_2 keskinkertainen
- Polymeeri C V_2 keskinkertainen
- Polymeeri D V_2 keskinkertainen
- Sementti E V_1 korkea
- Sementti F V_2 tai V_1 keskinkertainen tai korkea
- Sementti G V_2 keskinkertainen.

Asteikot menevät hieman lomittain, jolloin luokkien V_1 ja V_2 rajoilla oleva laasti Sementti F menisi V -arvon mukaan luokkaan V_2 ja S_d -arvon mukaan luokkaan V_1 . Kumpikaan standardeista SFS EN 15824 ja SFS EN 998-1 ei ota kantaa kumpaan ryhmään tuote silloin luokitellaan. Koska suuri vesihöyrynläpäisevyys on haluttu ominaisuus, V -arvot menevät paremmuusjärjestyksessä V_1 - V_3 siten, että V_1 on parhain ja V_3 on huonoin.

9 Huomioita

Polymeerisideaineisia laastiprismoja siirrettäessä vakiohuoneeseen yhden vuorokauden kuivumisen jälkeen kappaleet eivät olleet vielä kovettuneita, jolloin osan kappaleista muutti hieman muotoaan alkuperäisestä. Kaikista mittatarkimmat prismat valittiin lujuustesteihin ja vähemmän mittatarkat jäädytys-sulatuskestävyystestiin, jotta mahdollinen prismojen mittojen muuttuminen ei vaikuttaisi koetuloksiin.

Vesihöyrynläpäisevyyskoetta varten astian ja laastin välinen reuna tiivistettiin kaatamalla sulaa parafiinia metallilieriön ja astian reunan väliin. Parafiini jäähtyessään tiivisti laastin ja astian reunan välin ilmatiiviiksi. Joidenkin laastien pinta oli niin karkea, että parafiinia pääsi valumaan metallilieriön ali väärälle puolelle metallilieriötä. Ylimääräisestä parafiinista poistettiin mekaanisesti niin paljon kuin mahdollista vahingoittamatta laastia. On kuitenkin mahdollista, että parafiinia saattoi jäädä hieman joidenkin laastien pintaan, mikä rajoittaisi pinta-alaa, jolta vesihöyry pääsee haihtumaan.

Sementtipohjaisille tuotteille tehdyissä standardeissa ei ole otettu huomioon polymeerisiä tuotteita. Ehjien prismojen valmistaminen ei ole käytännössä mahdollista eikä vastaa käytäntöä, koska julkisivulaasteja ei ole suunniteltu täyttämään kuin maksimissaan 10 mm kerrospaksuuksia.

Edellä mainitut seikat eivät kuitenkaan vaikuttaneet merkittävästi tai ollenkaan koetuloksiin puristuslujuuskoetta lukuun ottamatta. Tuloksia voidaan pitää luotettavina, mutta edellä mainitut asiat on hyvä pitää mielessä mahdollisia seuraavia testejä tehdessä.

10 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suorittaa standardien mukaiset kokeet testattaville laasteille ja analysoida niistä saatujen tuloksien suhdetta standardien vaatimuksiin. Tätä kautta saadaan tietoon mitä ominaisuuksia on mahdollisesti tarve kehittää.

Testatuista seitsemästä laastista vain kaksi läpäisi SFS-käsikirja 176:n jäätymis-sulamiskestävyystestin. Koe on siis selkeästi hyvin vaativa ja ajaa näin valmistajia kehittämään parempia tuotteita. Tuotekehityksessä olevat laastit ylittivät sallitun 0,5 %:n painohäviön reilusti painohäviöllä n. 3 %. Tämä testi tehtiin laastien keskinäisen vertai-

lun vuoksi, eikä esimerkiksi ole osa CE-merkinnän kiinnittämiseen oikeuttavista vaatimuksista.

Taivutuslujuuskoe oli sopiva sekä polymeeri- että sementtipohjaisille laasteille. Kaikille koekappaleille saatiin taivutuslujuusarvot. Kehitteillä olevat laastit olivat muita laasteja reilusti heikompia murtolujuudella noin $1,5 - 2 \text{ N/mm}^2$, kun sementtiseideaineiset laastit saivat murtolujuudet noin $3,5 - 4,5 \text{ N/mm}^2$ ja markkinoilla oleva polymeeriseideaineinen laasti murtolujuuden noin $6,5 \text{ N/mm}^2$. Puristuslujuuskokeessa testatut polymeeripohjaiset laastit olivat niin joustavia, että niiden murtorajaa ei saatu selvitettyä puristamalla. Sementtiseideaineisilla laasteilla murtolujuus puristuksessa oli välillä noin $8,5 - 12 \text{ N/mm}^2$.

Tartuntalujuuskokeella saatiin määritettyä kaikille laasteille tartuntalujuus. Kaikki laastit täyttivät standardin vaatimuksen paitsi laastit Polymeeri B ja C. Käytetty liima ei kuivunut kokonaan valmistajan ilmoittamassa ajassa, joten muutamaan vetonappiin muodostui liiman adheesiomurtuma. Näiden vetokohtien tartuntalujuusarvot eivät kuitenkaan vaikuttaneet vaaditun vetolujuuden ylittymiseen, paitsi mahdollisesti laastilla Polymeeri C, joka olisi muuten saattanut ylittää vaaditun rajan kaikilla vetokohdilla. Kehitteillä olevista laasteista suurin osa murtumasta tapahtui laastin sisällä, joten jos laastin tartuntalujuutta halutaan parantaa, on parannettava ensin laastin sisäistä lujuutta, koska laastin kiinnittyminen alustaa on kovempaa kuin laastin itsessään ehjänä pysyminen.

Sekä vedenimevyys- että vesihöyrynläpäisevyyskokeissa kaikille laasteille saatiin tulokset ja niitä vastaavat luokitukset. Standardit eivät aseta arvoille ala- tai ylärajaa. Vesihöyrynläpäisevyyttä koskevan standardin mukaan tehtävässä luokittelussa laasti Sementti F on niin lähellä raja-arvoja, että se menee eri luokkiin eri laskentatapojen mukaan, mutta standardi ei ilmoita kumpaan luokkaan se silloin merkitään.

Tuotekehitystä ajatellen testatusta kolmesta vaihtoehdosta on järkevintä jatkaa laastilla Polymeeri A. Se oli ainoa kehitteillä olevista laasteista, joka läpäisi tartuntaa koskevan standardin vaatimuksen eikä suoriutunut missään testissä kahta muuta kehitteillä olevaa laastia heikommin paitsi jäädytys-sulatuskestävyydestä. Jäädytys-sulatuskestävyydessä kaikki kehitteillä olevat laastit jäivät kuitenkin niin kauas tavoitteesta, että niitä on pakko muuttaa merkittävästi, jos halutaan päästä vaadittuun painohäviöön.

Standardien mukaan suoritetuista viidestä testistä tartunta, vedenimevyys ja vesihöyrynläpäisevyys ovat vaadittuja polymeerisideaineisten laastien CE-merkinnässä. Taivutus- ja puristuslujuuskoe on sementtisideaineisten laastien CE-merkintää koskeva, mutta polymeerisideaineiset laastit testattiin myös sillä, jotta saatiin mahdollisimman vertailukelpoiset tulokset sementtisideaineisiin laasteihin verrattuna. Suoritettu jäädytys-sulatuskestävyyskoe ei liity CE-merkintään. Testattujen polymeerisideaineisten laastien standardien osalta voitaisiin siis Polymeeri A -laastille myöntää CE-merkintä.

Tavoitteet täyttyivät hyvin. Kaikki testit suoritettiin ja niistä saadut tiedot analysoitiin standardien ja tuotekehityksen näkökulmasta. Tulokset olivat käyttökelpoisia ja hyödyllinen osa tuotekehitystä.

Lähteet

- 1 Vuosikertomus 2012. www-dokumentti. Tikkurila Oyj
<http://www.tikkurilagroup.com/files/2132/Tikkurila_vuosikertomus_2012.pdf >
Luettu 12.11.2013.
- 2 Suonto, Yrjö. 1997. Julkisivuopas. Julkisivuyhdistys ry.
<http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/JulkkariOpas/julkisivuopas1_s07-13.pdf> Luettu 20.11.2013.
- 3 Pakkasrapautuminen. 2010. www-dokumentti. Tofte Yhtiöt Oy.
<<http://www.haistahome.fi/betonin+tutkimus/betonin+rapautuminen/pakkasrapautuminen/>> Luettu 9.1.2014
- 4 Materiaaleista. 2008. www-dokumentti. Aalto-yliopisto.
<https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/10048/materiaali/10048_ekman__materiaaleista.pdf> Luettu 27.11.2013
- 5 SFS-EN 1062-3. 2008. Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 3: Determination of liquid water permeability. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 6 SFS-EN 7783. 1999. Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Part 2: Determination and classification of water-vapour transmission rate (permeability). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 7 CE-esite. 2007. www-dokumentti. Tukes.
<<http://www.tukes.fi/tiedostot/rakennustuotteet/ce-esite.pdf>> Luettu 23.9.2013
- 8 Portlandsementin hydrataatio. 2000. www-dokumentti. VTT.
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf>> Luettu 1.11.2013
- 9 SFS-Käsikirja 176. 2007. Muuratut tuotteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 10 SFS-EN 1015-11 + A1. 2006. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 11: Kovetuneen laastin taivutus- ja puristuslujuuden määrittäminen. Suomen standardisoimisliitto SFS.
- 11 SFS-EN 1541. 1999. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Tartuntalujuuden mittausta vetokokeella.
- 12 SFS-EN 15824. 2009. Spesifikaatio orgaanisiin sideaineisiin pohjautuville ulkorrappauslaasteille ja sisätasoitteille. Suomen standardisoimisliitto SFS.

- 13 SFS-EN 998-1. 2010. Laastien spesifikaatiot. Osa 1: Rappauslaastit ja tasoitteet. Suomen standardisoimisliitto SFS.

Jäätymis-sulamiskestävyystestin kaikki tulokset

Taulukko 1. Jäätymis-sulamiskestävyystestin kaikkien koekappaleiden alkupainot, loppupainot ja painohäviöt.

Koekappale	Alkupaino P_a (g)	Loppupaino P_l (g)	Painohäviö P_h (%)
Polymeeri A1	247,08	239,35	3,13
Polymeeri A2	239,50	232,40	2,96
Polymeeri A3	245,20	237,55	3,12
Polymeeri B1	233,48	226,88	2,83
Polymeeri B2	243,08	236,04	2,90
Polymeeri B3	232,79	226,16	2,85
Polymeeri C1	241,63	234,71	2,86
Polymeeri C2	238,82	231,48	3,07
Polymeeri C3	247,01	240,40	2,68
Polymeeri D1	286,92	285,70	0,43
Polymeeri D2	286,95	285,77	0,41
Polymeeri D3	281,96	280,73	0,44
Sementti E1	302,44	301,31	0,37
Sementti E2	296,25	294,31	0,65
Sementti E3	301,87	300,67	0,40
Sementti F1	391,45	386,49	1,27
Sementti F2	384,17	377,86	1,64
Sementti F3	384,76	380,98	0,98
Sementti G1	352,76	347,08	1,61
Sementti G2	351,81	347,41	1,25
Sementti G3	358,16	353,58	1,28

Taulukko 2. Jäätymis-sulamistestin punnitustulokset uunissa pitämisen jälkeen ja painonmuutoksen tasaantuminen. Polymeeripohjaisilla kappaleilla uunin lämpötila oli 50 °C ja sementtipohjaisilla 105 °C.

Koekappale	Alkupaino P_a (g)	Uunissa 7 vrk (g)	Uunissa 17 vrk (g)	Painonmuutos 7 ja 17 vrk välillä (%)
Polymeeri A1	247,08	239,92	239,35	-0,002
Polymeeri A2	239,50	232,40	232,40	0,000
Polymeeri A3	245,20	237,50	237,55	0,000
Polymeeri B1	233,48	226,90	226,88	0,000
Polymeeri B2	243,08	236,02	236,04	0,000
Polymeeri B3	232,79	226,18	226,16	0,000
Polymeeri C1	241,63	234,76	234,71	0,000
Polymeeri C2	238,82	231,50	231,48	0,000
Polymeeri C3	247,01	240,41	240,40	0,000
Polymeeri D1	286,92	285,72	285,70	0,000
Polymeeri D2	286,95	285,76	285,77	0,000
Polymeeri D3	281,96	280,80	280,73	0,000
Sementti E1	302,44	301,45	301,31	0,000
Sementti E2	296,25	294,74	294,31	-0,001
Sementti E3	301,87	300,94	300,67	-0,001
Sementti F1	391,45	386,55	386,49	0,000
Sementti F2	384,17	377,85	377,86	0,000
Sementti F3	384,76	381,09	380,98	0,000
Sementti G1	352,76	347,15	347,08	0,000
Sementti G2	351,81	347,88	347,41	-0,001
Sementti G3	358,16	353,66	353,58	0,000

Taivutus- ja puristuslujuuskokeiden kaikki tulokset

Taulukko 1. Taivutuslujuuskokeen kaikkien koekappaleiden taivutuslujuustulokset.

Koekappale	Taivutuslujuus (N / mm ²)
Polymeeri A1	1,83
Polymeeri A2	1,74
Polymeeri A3	2,00
Polymeeri B1	1,66
Polymeeri B2	1,54
Polymeeri B3	1,61
Polymeeri C1	1,87
Polymeeri C2	1,76
Polymeeri C3	1,72
Polymeeri D1	6,24
Polymeeri D2	6,85
Polymeeri D3	6,29
Sementti E1	4,01
Sementti E2	3,32
Sementti E3	3,32
Sementti F1	4,19
Sementti F2	3,69
Sementti F3	4,68
Sementti G1	4,74
Sementti G2	4,18
Sementti G3	4,06

Taulukko 2. Puristuslujuuskokeen kaikkien koekappaleiden taivutuslujuustulokset.

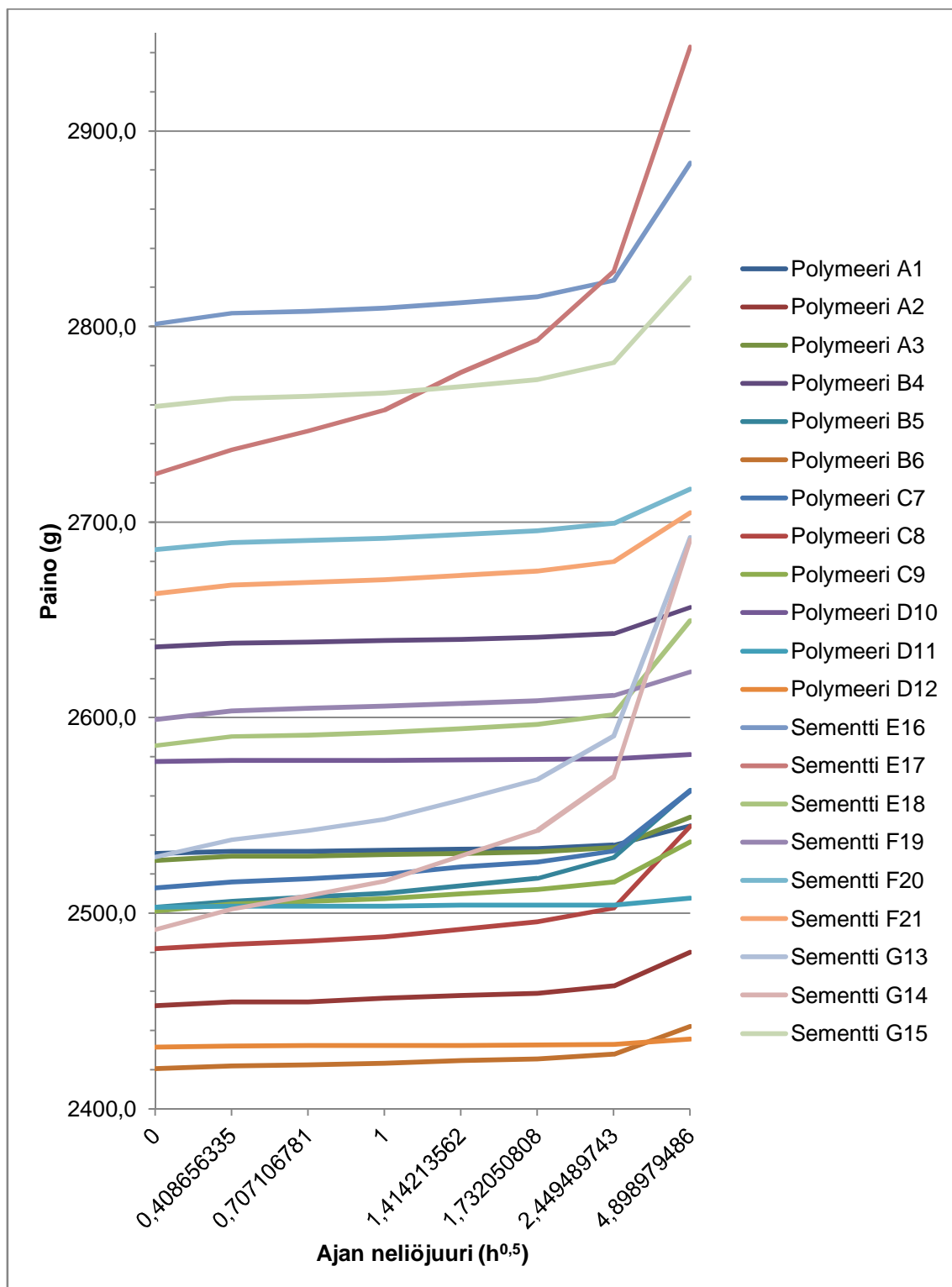
Koekappale	Puristuslujuus (N / mm ²)
Polymeeri A1	-
Polymeeri A2	-
Polymeeri A3	-
Polymeeri B1	-
Polymeeri B2	-
Polymeeri B3	-
Polymeeri C1	-
Polymeeri C2	-
Polymeeri C3	-
Polymeeri D1	-
Polymeeri D2	-
Polymeeri D3	-
Sementti E1	8,54
Sementti E2	6,95
Sementti E3	10,07
Sementti F1	9,43
Sementti F2	12,34
Sementti F3	14,78
Sementti G1	9,79
Sementti G2	10,78
Sementti G3	8,83

Vedenimevyyskokeen kaikki tulokset ja kaavio

Taulukko 1. Vedenimevyyskokeen näytteiden punnitustulokset lähtötilanteessa ja eri aikoina upotuksen aloituksesta.

Näyte	Lähtöpaino (g)	10 min (g)	30 min (g)	1 h (g)	2 h (g)	3 h (g)	6 h (g)	24 h (g)
Polymeeri A1	2530,4	2531,7	2531,7	2532,2	2532,7	2533,1	2534,9	2544,7
Polymeeri A2	2452,7	2454,5	2454,7	2456,5	2457,9	2458,9	2462,8	2480,3
Polymeeri A3	2526,9	2529,1	2529,2	2529,9	2530,5	2531,3	2533,5	2549,3
Polymeeri B4	2636,2	2638,1	2638,5	2639,3	2640,1	2641,1	2643,1	2656,4
Polymeeri B5	2503,1	2506,0	2508,2	2510,2	2514,1	2517,9	2528,7	2563,0
Polymeeri B6	2420,5	2422,0	2422,5	2423,2	2424,7	2425,5	2427,9	2442,1
Polymeeri C7	2513,0	2515,9	2517,6	2519,8	2523,7	2526,0	2532,0	2562,6
Polymeeri C8	2481,7	2484,1	2485,8	2487,9	2491,8	2495,5	2502,7	2544,5
Polymeeri C9	2501,2	2504,6	2506,1	2507,4	2509,9	2512,0	2516,0	2536,5
Polymeeri D10	2577,6	2578,1	2578,2	2578,2	2578,3	2578,7	2578,8	2581,1
Polymeeri D11	2503,1	2503,6	2503,6	2503,7	2504,2	2504,0	2504,2	2507,6
Polymeeri D12	2431,4	2432,1	2432,2	2432,3	2432,4	2432,7	2432,9	2435,5
Sementti E16	2801,5	2806,9	2807,8	2809,5	2812,1	2815,1	2823,7	2883,6
Sementti E17	2724,6	2737,0	2746,6	2757,3	2776,6	2793,3	2828,3	2943,0
Sementti E18	2585,9	2590,4	2591,1	2592,3	2594,4	2596,5	2601,8	2649,5
Sementti F19	2599,0	2603,5	2604,7	2605,8	2607,3	2608,7	2611,4	2623,5
Sementti F20	2686,0	2689,6	2690,7	2691,7	2693,7	2695,6	2699,3	2716,9
Sementti F21	2663,5	2667,9	2669,2	2670,5	2672,8	2674,8	2679,9	2705,0
Sementti G13	2528,8	2537,7	2542,3	2548,1	2558,1	2568,5	2590,7	2692,2
Sementti G14	2491,8	2502,1	2509,1	2516,4	2529,4	2542,4	2569,8	2690,8
Sementti G15	2759,1	2763,1	2764,3	2765,9	2769,2	2772,7	2781,6	2825,1

Kaavio 1. Vedenimevyyskokeen punnitustuloksia kuvaavat suorat.



Vesihöyrynläpäisevyyskokeen kaikki punnitustulokset

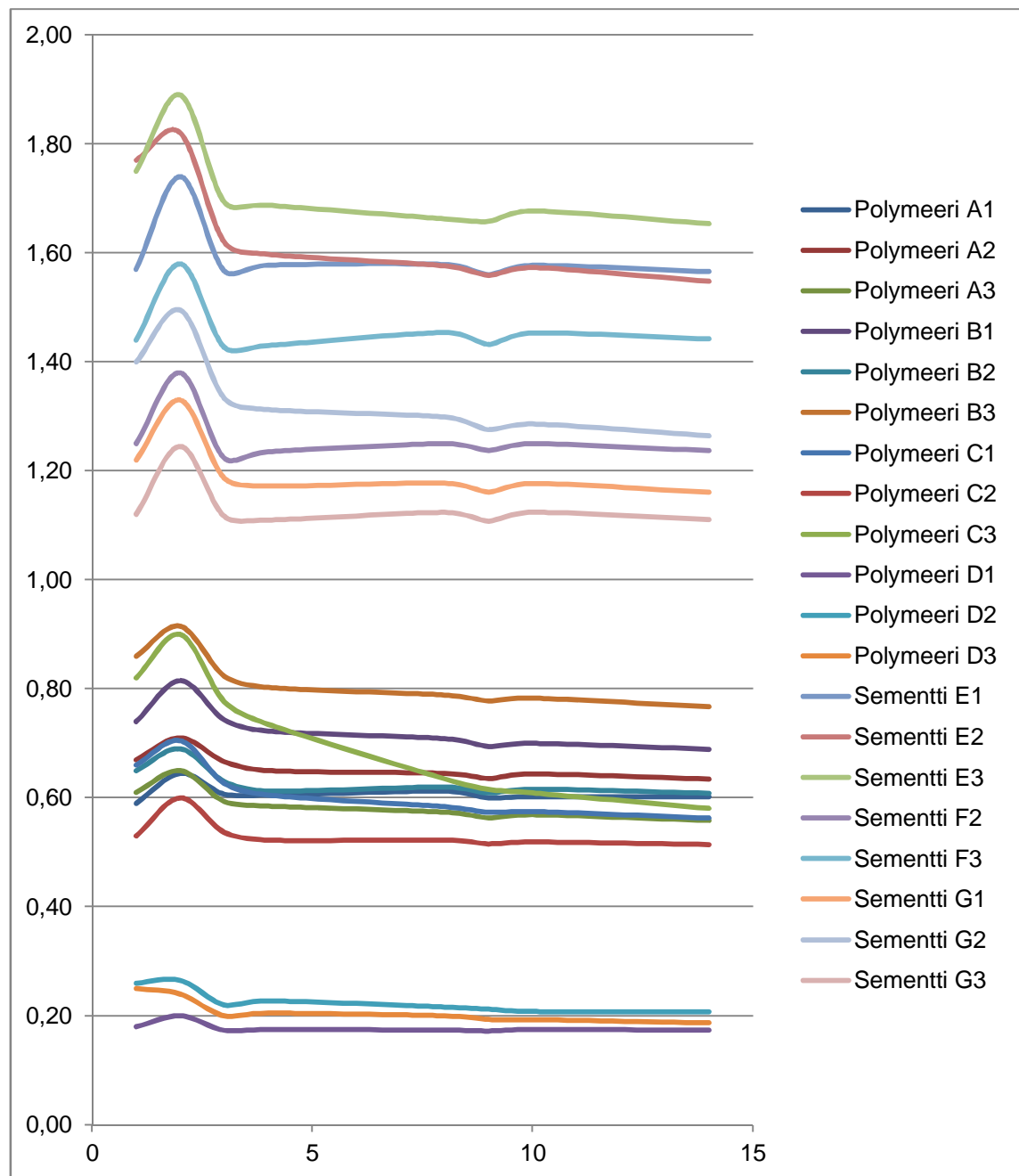
Taulukko 1. Vesihöyrynläpäisevyyskokeen punnitustulokset

Näytteiden painot (g)									
Näyte \ Vuorokausi	0	1	2	3	4	8	9	10	14
Polymeeri A1	708,34	707,75	707,05	706,52	705,92	703,44	702,94	702,32	699,91
Polymeeri A2	711,15	710,48	709,73	709,15	708,55	705,99	705,43	704,71	702,27
Polymeeri A3	742,14	741,53	740,84	740,36	739,80	737,55	737,07	736,45	734,32
Polymeeri B1	735,65	734,91	734,02	733,42	732,76	729,98	729,40	728,65	726,00
Polymeeri B2	698,55	697,90	697,17	696,66	696,10	693,59	693,07	692,39	690,03
Polymeeri B3	680,89	680,03	679,06	678,42	677,68	674,58	673,89	673,06	670,15
Polymeeri C1	713,36	712,70	711,95	711,48	710,94	708,69	708,20	707,61	705,48
Polymeeri C2	699,98	699,45	698,78	698,37	697,89	695,80	695,34	694,79	692,78
Polymeeri C3	699,80	698,98	698,00	697,47	696,86	694,72	694,26	693,71	691,67
Polymeeri D1	761,76	761,58	761,36	761,24	761,06	760,37	760,21	760,01	759,33
Polymeeri D2	685,48	685,22	684,95	684,82	684,57	683,75	683,57	683,40	682,57
Polymeeri D3	755,05	754,80	754,57	754,45	754,23	753,45	753,31	753,12	752,43
Sementti E1	718,70	717,13	715,22	714,00	712,39	706,07	704,66	702,93	696,78
Sementti E2	753,23	751,46	749,59	748,37	746,84	740,62	739,20	737,50	731,56
Sementti E3	745,18	743,43	741,40	740,10	738,43	731,88	730,26	728,41	722,03
Sementti F2	749,40	748,15	746,64	745,73	744,46	739,40	738,26	736,90	732,08
Sementti F3	697,78	696,34	694,62	693,50	692,06	686,15	684,89	683,25	677,59
Sementti G1	735,45	734,23	732,79	731,89	730,76	726,03	725,00	723,68	719,20
Sementti G2	711,30	709,90	708,31	707,30	706,05	700,91	699,82	698,44	693,60
Sementti G3	718,75	717,63	716,26	715,40	714,31	709,76	708,78	707,51	703,20

Taulukko 2. Vesihöyrynläpäisevyyskokeen painohäviöt vuorokautta kohden.

Painohäviö / vrk (g)									
Näyte \ Vuorokausi	0	1	2	3	4	8	9	10	14
Polymeeri A1	708,34	0,59	0,65	0,61	0,61	0,61	0,60	0,60	0,60
Polymeeri A2	711,15	0,67	0,71	0,67	0,65	0,64	0,64	0,64	0,63
Polymeeri A3	742,14	0,61	0,65	0,59	0,59	0,57	0,56	0,57	0,56
Polymeeri B1	735,65	0,74	0,81	0,74	0,72	0,71	0,69	0,70	0,69
Polymeeri B2	698,55	0,65	0,69	0,63	0,61	0,62	0,61	0,62	0,61
Polymeeri B3	680,89	0,86	0,92	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77
Polymeeri C1	713,36	0,66	0,70	0,63	0,60	0,58	0,57	0,58	0,56
Polymeeri C2	699,98	0,53	0,60	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51
Polymeeri C3	699,80	0,82	0,90	0,78	0,73	0,63	0,62	0,61	0,58
Polymeeri D1	761,76	0,18	0,20	0,17	0,18	0,17	0,17	0,18	0,17
Polymeeri D2	685,48	0,26	0,26	0,22	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21
Polymeeri D3	755,05	0,25	0,24	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19
Sementti E1	718,70	1,57	1,74	1,57	1,58	1,58	1,56	1,58	1,57
Sementti E2	753,23	1,77	1,82	1,62	1,60	1,58	1,56	1,57	1,55
Sementti E3	745,18	1,75	1,89	1,69	1,69	1,66	1,66	1,68	1,65
Sementti F2	749,40	1,25	1,38	1,22	1,23	1,25	1,24	1,25	1,24
Sementti F3	697,78	1,44	1,58	1,43	1,43	1,45	1,43	1,45	1,44
Sementti G1	735,45	1,22	1,33	1,19	1,17	1,18	1,16	1,18	1,16
Sementti G2	711,30	1,40	1,50	1,33	1,31	1,30	1,28	1,29	1,26
Sementti G3	718,75	1,12	1,25	1,12	1,11	1,12	1,11	1,12	1,11

Kuvio 1. Vesihöyrynläpäisevyyskokeen painohäviöitä kuvaavat suorat.



Taulukko 3. Vesihöyrynläpäisykokeen kaikkien koekappaleiden V -, S_d - ja μ -arvot.

Koekappale	V (g / m ² / d)	S_d (m)	μ
Polymeeri A1	58,57991	0,28905	65,14
Polymeeri A2	61,70695	0,26254	58,90
Polymeeri A3	54,34103	0,32633	73,84
Polymeeri B1	67,05766	0,23577	52,59
Polymeeri B2	59,20531	0,24537	55,19
Polymeeri B3	74,63205	0,21530	47,64
Polymeeri C1	54,75797	0,28084	63,51
Polymeeri C2	50,03266	0,31986	72,70
Polymeeri C3	56,49521	0,28098	63,43
Polymeeri D1	16,88602	1,08437	254,72
Polymeeri D2	20,22153	0,93598	219,33
Polymeeri D3	18,20633	0,96965	227,47
Sementti E1	152,32165	0,10814	21,94
Sementti E2	150,58441	0,11031	22,43
Sementti E3	160,86890	0,08867	17,83
Sementti F1	120,35634	0,13032	27,43
Sementti F2	140,29992	0,12043	24,78
Sementti G1	112,92093	0,12190	25,89
Sementti G2	122,99696	0,13620	28,58
Sementti G3	108,05665	0,14993	31,99